

高等学校教学用书

理論力学

上册

西安交通大学理論力学教研组編

人民教育出版社

高等学校教学用书



理 論 力 学

上 册

西安交通大学理论力学教研组编

人民教育出版社

高等学校教学用



理 論 力 学

下 册

西安交通大学理论力学教研组编

人 民 教 育 出 版 社

本书是西安交通大学根据高等工业学校机械、电机类型的各专业理论力学课程的要求编写的，内容基本上与1960年1月在西安召开的高等工业学校理论力学教学大纲座谈会所制订的五年制机械类专业理论力学教学大纲(修正草案)一致。

本书暂分上、下两册出版，上册包括静力学、运动学，下册包括动力学。除机、电类型各专业可用作教学参考书外，其他学时较少的专业也可参考。

理 論 力 學

上 册

西安交通大学
理論力学教研組編

人民教育出版社出版 总编辑 魏金枝 编辑 魏金枝 北京宣武门内大街24号

(北京市书刊出版业营业登记证出字第2号)

民族印刷厂印装 新华书店发行

统一书号 13010·787 开本 850×1164¹/₃₂ 印张 8¹²/₁₆

字数 203600 印数 0001—2000 定价(8) ¥0.85

1960年4月第1版 1960年4月北京第1次印刷

本书是西安交通大学根据高等工业学校机械、电机类型的各专业理论力学课程的要求编写的,内容基本上与1960年1月(女)安召开的高等工业学校理论力学教学大纲座谈会所制订的五年制机械类专业理论力学教学大纲(修正草案)一致。

本书分上、下两册出版,上册包括静力学、运动学,下册包括动力学。除机、电类型各专业可用作教学参考书外,其他学时较少的专业也可参考。

理 论 力 学

下 册

西安交通大学

理论力学教研组编

人民教育出版社出版 高等学校教材编辑室
北京宣武门内大街27号

(北京市书刊出版业营业许可出字第2号)

京华印书局印装 新华书店发行

统一书号 13010·792 开本 850×1168 1/32 印张 7 24/32

字数 183 000 印数 0001—7000 定价 (6) 0.97元

1960年7月第1版 1960年7月北京第1次印刷

序

1958年7月，在党的“破除迷信，解放思想”的号召下，在大跃进形势的鼓舞下，我组教师在党组织的领导下发挥了集体力量，在吸收苏联先进教材的优点和总结教学经验的基础上，着手编写一套比较适合我校专业需要的理论力学教本。9月，我校进行了教育方针的大辩论，明确了教育为无产阶级政治服务、教育与生产劳动相结合的方针，全面地编出了教材。经过教育革命的大破大立，不断地进行教学实践与改进，理论力学的教学质量有了显著的提高。1959年，我们初步总结教育革命以来的经验，要求进一步贯彻辩证唯物主义、理论密切联系实际和培养学生独立工作能力，又进行了一次全面的改写。

本书是根据高等工业学校一些要求较高的专业理论力学课程所应该达到（或争取达到）的水平而编写的，与1960年1月在西安召开的高等工业学校理论力学教学大纲座谈会制订的五年制机械类专业理论力学教学大纲（修正草案）基本上是一致的。

在编写过程中，我们力求贯彻毛主席的哲学思想，特别是以毛主席的“实践论”与“矛盾论”作为指导。结合理论力学课程的特点与任务，在阐述一些概念时，根据辩证唯物主义与历史唯物主义的观点、方法说明它们的物理意义。同时，本书也努力使理论紧密与实际联系，培养学生以辩证唯物主义的世界观来分析问题与研究问题。本书的另一个特点是，注意加强与后续课程的分工与配合。例如，在静力学中注意了与材料力学的配合；在运动学中增加了常用机构的运动分析举例；在动力学中讲到了茹科夫斯基杠杆和机器的运动方程式等等，都是为学习后课的机械原理创造更有利的

条件。至于在系统方面，在静力学中讲授共点力学与力偶理论时，并未将平面和空间分开；在动力学中先讲质点后讲质点系。这些是根据我校特点与教学实践的经验而安排的。

限于我们的水平和缺少编写经验，错误和疏漏在所难免，殷切期望兄弟院校理论力学教研组和读者对我们提出批评和指正。

西安交通大学理论力学教研组

1960年2月。

上册目录

序	vii
緒論	1
靜力学	
第一章 靜力学基本概念及原理	5
§ 1-1 靜力学研究对象·剛体及平衡的概念	5
§ 1-2 力的概念·力系	6
§ 1-3 靜力学基本公理	8
§ 1-4 約束及約束力·受力圖	11
第二章 共点力系	16
§ 2-1 共点力系合成的几何法	16
§ 2-2 共点力系平衡的几何条件	19
§ 2-3 力的分解	22
§ 2-4 力在坐标軸上的投影	23
§ 2-5 共点力系合成的分析法	27
§ 2-6 共点力系平衡的分析条件	29
第三章 力偶理論	33
§ 3-1 兩平行力的合成	36
§ 3-2 力偶矩·等效力偶	38
§ 3-3 力偶矩的矢量表示法·相交平面內力偶矩的合成	41
§ 3-4 力偶系的平衡条件	44
第四章 平面力系	47
§ 4-1 力对点之矩	47
§ 4-2 平面力系向已知点簡化·主矢量和主矩	49
§ 4-3 平面力系合成为合力·伐里农定理	53
§ 4-4 平面力系合成为力偶	55
§ 4-5 平面力系的平衡条件	55
§ 4-6 平面平行力系的平衡条件	59
§ 4-7 几个物体組成的系統的平衡	61
§ 4-8 靜不定問題的概念	65

第五章 摩擦	67
§5-1 滑动摩擦·库伦摩擦的近似定律	67
§5-2 摩擦角·自锁现象	71
§5-3 滑块、滚动轴承和皮带的摩擦	77
§5-4 滚动摩擦	85
第六章 图解静力学	91
§6-1 索多边形·平面力系合成为合力	91
§6-2 平面力系合成为力偶	94
§6-3 平面力系平衡条件	95
§6-4 用图解法求反应约束力	95
第七章 桁架	98
§7-1 桁架的概念	98
§7-2 节点截割法	102
§7-3 克林蒙那-麦克斯韦法	105
§7-4 李特尔法(截段法)	108
第八章 空间力系	111
§8-1 力对点之矩的矢量表示法	111
§8-2 力对轴之矩	113
§8-3 力对已知点之矩与对通过此点的轴之矩间的关系	115
§8-4 空间力系向已知中心简化·主矢量与主矩	116
§8-5 空间力系合成为一合力·空间力系的伐里农定理	120
§8-6 空间力系合成为一力偶	122
§8-7 空间力系合成为力螺旋	123
§8-8 空间力系的平衡条件	124
第九章 平行力系中心与重心	132
§9-1 平行力系中心	132
§9-2 重心	134
§9-3 对称物体的重心	138
§9-4 古星顿定理	139
§9-5 形状简单的物体的重心	141
§9-6 组合体的重心	143
§9-7 实验法求重心	145
运动学	
第十章 运动学导言	148
第十一章 点的直线运动	149

§ 11-1	点的直线运动方程式	149
§ 11-2	点的直线运动的速度和加速度	149
§ 11-3	刚体运动	155
§ 11-4	运动图示法	159
第十二章 点的曲线运动		161
§ 12-1	点的位置决定法·运动方程式	161
§ 12-2	矢量导数	164
§ 12-3	点的速度	166
§ 12-4	点的加速度	170
§ 12-5	加速度按自然坐标轴分解	172
§ 12-6	速度和加速度在极坐标轴上的投影	180
第十三章 刚体运动的基本形式		186
§ 13-1	平行移动	186
§ 13-2	刚体绕定轴转动	186
§ 13-3	绕定轴转动刚体内各点速度和加速度的分布	191
§ 13-4	角速度是矢量·用矢积表示线速度、切向加速度和法向加速度	193
第十四章 点的复合运动		199
§ 14-1	点的复合运动的概念	199
§ 14-2	速度合成定理	201
§ 14-3	牵连运动为平动时加速度合成定理	205
§ 14-4	牵连运动为定轴转动时加速度合成定理(科里奥利定理)	207
第十五章 刚体的平面运动		217
§ 15-1	刚体平面运动方程式	217
§ 15-2	平面运动分解为平动与转动	219
§ 15-3	平面图形内各点的速度	221
§ 15-4	速度图解	225
§ 15-5	固定极速与活动极速·布安素定理	227
§ 15-6	绕平行轴转动的合成·三心定理	231
§ 15-7	平面图形内各点的加速度	237
§ 15-8	平面机构运动分析实例	242
第十六章 刚体绕定点转动及刚体的一般运动		248
§ 16-1	欧拉角·刚体绕定点转动方程式	248
§ 16-2	刚体绕定点转动的位移定理(欧拉定理)·瞬时转动轴	250
§ 16-3	绕相交轴转动时角速度的合成·绕定点转动的刚体内各点的速度	253
§ 16-4	绕定点转动的刚体内各点的加速度	260
§ 16-5	刚体的一般运动及其分解为随基点的平动与绕基点的转动	262

§ 16-6	作一般运动的刚体内各点的速度 瞬时螺旋轴	265
§ 16-7	作一般运动的刚体内各点的加速度	268
附录:	牵连运动为一般运动时加速度合成定理——科里奥利定理...	270

52.1

目 录

动力学

第十七章	动力学基本定律	273
§ 17-1	动力学的对象和两大基本问题	273
§ 17-2	动力学基本定律和基本概念	274
§ 17-3	惯性坐标系和经典力学的适用范围	279
§ 17-4	单位制和量纲	280
第十八章	质点运动微分方程式	282
§ 18-1	质点运动微分方程式	282
§ 18-2	质点动力学第一类问题——已知运动求力	283
§ 18-3	质点动力学第二类问题——已知力求运动	285
第十九章	质点动量定理	294
§ 19-1	质点的动量 力的冲量	294
§ 19-2	质点动量定理	297
第二十章	质点动量矩定理	301
§ 20-1	动量矩	301
§ 20-2	质点动量矩定理	302
§ 20-3	质点在中心力作用下的运动	303
第二十一章	质点动能定理	307
§ 21-1	功和功率	307
§ 21-2	质点的动能	312
§ 21-3	质点的动能定理	313
§ 21-4	势力场的概念	314
§ 21-5	势能(位能)的概念 机械能守恒定律	320
第二十二章	质点达朗伯原理	325
§ 22-1	惯性力	325
§ 22-2	达朗伯原理	326
第二十三章	振动的基本理论	330
§ 23-1	质点的自由振动	330
§ 23-2	阻尼对自由振动的影响(衰减振动)	336
§ 23-3	质点的受迫振动	341

§ 23-4	阻尼对受迫振动的影响	347
§ 23-5	强迫振动利用与消除	350
第二十四章	质点相对运动	354
§ 24-1	相对运动的微分方程式	354
§ 24-2	相对运动中质点的动能定理	358
§ 24-3	考虑地球旋转时物体的相对静止与运动	360
*§ 24-4	流体对管壁的偏移	363
第二十五章	虚位移原理	366
§ 25-1	约束及其分类	366
§ 25-2	虚位移	370
§ 25-3	理想约束	373
§ 25-4	虚位移原理	375
§ 25-5	平面机构的平衡 茹科夫斯基杠杆法	382
第二十六章	质点系动能定理	386
§ 26-1	质点系运动微分方程式	386
§ 26-2	质点系动能定理	388
§ 26-3	质点系质心运动定理	396
§ 26-4	变质量质点动力学基础知识	403
第二十七章	质点系动量矩定理	408
§ 27-1	质点系动量矩定理	408
§ 27-2	刚体绕定轴转动微分方程式 转动惯量的概念	413
§ 27-3	相对于质心运动的动量矩定理	416
§ 27-4	刚体平面运动微分方程式	419
第二十八章	迴轉現象的近似理論	423
§ 28-1	迴轉現象	423
§ 28-2	迴轉力矩	424
§ 28-3	工程中所見到的迴轉效应举例	428
第二十九章	质点系动能定理	431
§ 29-1	质点系的动能 柯尼希定理	431
§ 29-2	质点系动能定理	434
§ 29-3	作用于质点系上的力系做功	437
§ 29-4	系在势力場中的运动 系的机械能守恒定律	443
§ 29-5	机器的运动方程式	447
第三十章	轉动慣量	451
§ 30-1	轉动慣量的普通公式	451

§ 30-2	转动惯量的计算举例	453
§ 30-3	用实验法求刚体的转动惯量	456
§ 30-4	刚体对于平行轴的转动惯量	457
§ 30-5	刚体对于相交轴的转动惯量 惯量椭球面	459
§ 30-6	惯量主轴	462
第三十一章 质点系达朗伯原理 作用在绕固定轴转动刚体上的动反力		466
§ 31-1	质点系达朗伯原理	468
§ 31-2	刚体上各点的惯性力向质心的简化	470
§ 31-3	作用于绕固定轴转动之刚体旋转轴上的动反力	472
第三十二章 拉格朗日方程式		478
§ 32-1	广义坐标 广义力	478
§ 32-2	以广义坐标表示的质点系平衡条件	485
§ 32-3	动力学普遍方程式	487
§ 32-4	拉格朗日方程式	491
第三十三章 碰撞		501
§ 33-1	质点的碰撞	501
§ 33-2	两个物体的对心正碰撞 恢复系数	504
§ 33-3	碰撞时动能的损失	508
§ 33-4	质点系的碰撞	510
§ 33-5	碰撞冲量对绕定轴转动的刚体的作用 碰撞中心	512

緒 論

理論力學是研究物體機械運動規律的科學

“就最一般的意義來說，運動是物質存在的形式、物質的固有屬性，它包括宇宙中所發生的一切變化和過程，從簡單的位置變動直到思維止。”（恩格斯，自然辯證法，人民出版社，1955年版，第40頁）按照唯物辯證法的觀點，一切的物質是相互聯系着的，就是說它們在相互作用着。正是由於這種相互作用，構成了物質世界的各種各樣形式的運動，而表現為熱、電磁、光、化學、力學等等現象。因此，辯證唯物主義告訴我們，一切物質都存在于運動中，物質如果沒有運動，就無法捉摸了。另一方面，很顯然的，說到運動也只有物質才在運動，不可能存在沒有物質的運動。所以，恩格斯說：“沒有運動的物質和沒有物質的運動，同樣是不可思議的。”自然界和人類社會生活的現象都證明了這論點。由此可見，運動是物質不可分割的屬性，是物質存在的形式。本課程所研究的機械運動是上述廣泛意義下的物質運動形式之一，它表示在時間的過程中，物體間或物體部分間相互位置的改變。與其他的運動形式相比較，這種運動形式可以認為是最簡單的。物體的平衡狀態（例如靜止和勻速直線運動）則是機械運動的相對的暫時的表現。

由於物體之間相互的機械作用，即力的作用，物體的運動發生改變。物體相互間作用的力與物體機械運動的改變之間存在着密切的聯系。理論力學研究機械運動的規律，具體的說，就是研究力與機械運動的改變之間的关系。

機械運動雖是最簡單的運動形式，然而在自然界和工程技術

中是最常見的，行星的運動、一切機器的運動^①等都是機械運動。可見，理論力學所研究的運動規律，可以用來解釋很多的自然現象，更重要的它還為解決一系列工程技術問題（如建築結構計算、機械設計、火箭飛行原理等方面的問題）打下了必要的基礎。在材料力學、機械原理、零件設計、流體力學、振動學以及各種專業的動力學（如內燃機動力學、機車動力學）中，許多有關力學的技术計算常常應用到本課程中所講的理論知識，所以理論力學是這些後續課程的基礎。綜上所述，學習理論力學的重要性是顯而易見的。

宇宙間作機械運動的物體多得不可思議，要一個個地加以研究，無論如何是不可能的，必須把這些物體概括起來考慮，這樣，在各種不同的問題的情況下略去次要因素後，我們把作機械運動的物體歸結為幾個所謂力學模型。在本課程中遇到的有質點（具有質量的幾何點）、質點系（相互間有某種聯繫的一群質點）和剛體（各質點間距離保持不變的質點系）。這些從力學的角度所考慮的物體是把真實物體在一定情況下抽象的結果。在處理實際問題時，要有辯證的觀點，例如，研究行星繞日的運動時，行星的大小在運動過程中可以忽略不計，因此我們可以把行星看作質點。這些力學模型反映了作機械運動物體的最基本屬性，使得我們的研究大大地簡化。

和一切科學一樣，理論力學是建築在生產實踐、觀察和試驗的基礎上的，它和人類生活實踐及生產實踐密切聯繫着。古代遺留下來的一些建築物使我們相信那時人們已經有了相當豐富的力學知識。遠在我國黃帝時代（距今四千多年前），勞動人民已開始製作舟、車和耕作機械，建築宮室。到戰國時代，已經在機械製造和建築結構上有着巨大的成就。同時代的墨子則在力學理論上亦有

^① 除非特別指出，以後提到運動都指機械運動。

很大成就，他對力所下的定義，在現在看來也是比較完善的。可見，力學的發展在一開始就是密切地依賴着生產實踐。在後來的發展中也是一樣。在封建社會，因生產停滯不前，力學的發展也差不多陷於停頓。直到十五世紀西方文藝復興，資本主義興起，貿易、航海發展起來，建築、航海、軍事等的發展向力學提出了新的刻不容緩的任務，實踐要求更完整的理論來指導。因而，力學就隨之有了空前的發展。哥白尼(1473—1543)創立了太陽中心說，在科學界引起了宇宙觀大革命。刻卜勒(1571—1630)根據哥白尼的發現，並繼承了第谷·勃拉格(1546—1601)對行星繞日運動多年的觀察研究，得出了著名的行星運行三大定律，這三大定律又成為牛頓發現萬有引力的基礎。此後伽利略(1564—1642)從觀察落體運動中提出了加速度的概念，又在對物體沿斜面運動的研究中確立了慣性定律，因而奠定了動力學的初步基礎，他在力學方面研究的重要意義，不僅在於他所獲得的一些研究成果，而且也由於他在力學中有系統地引用了實驗的方法。牛頓(1643—1727)總結了前人的成就，確立了若干基本定律，創立了現代的經典力學，此外牛頓還發現了萬有引力定律，成為理論天文學和天體力學的基礎。

力學的上述發展過程，說明了人們如何把力學的感性知識，提高為概念以至理論，而且由初級的理論提高到較高級的理論。自發現某些現象的特殊規律（如刻卜勒行星運行定律），到更一般的規律（如牛頓定律）；是經歷了無數次實踐——理論——實踐的過程的，正是這種無數次的過程，使得人們的認識不斷提高和深化。

在社會主義陣營中，生產大發展向力學提出了更高更多的要求，人類不滿足於自己的搖籃——地球，蘇聯於1959年1月發射的第一顆宇宙行星，充分說明了蘇聯在一系列的尖端科學部門，其中也包括力學理論，達到了頂峰。我國工農業的大躍進，也提出了許多力學問題須待解決，如三峽水利樞紐工程建設中的壩體受力問